

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-096399
(43)Date of publication of application : 09.04.1999

(51)Int.Cl. G06T 17/20

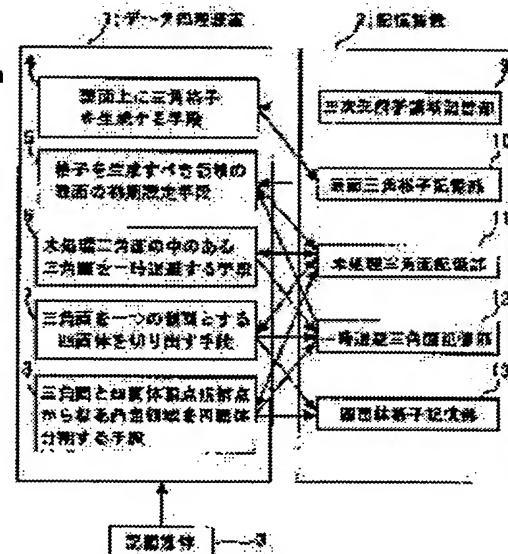
(21)Application number : 09-273922 (71)Applicant : NEC CORP
(22)Date of filing : 19.09.1997 (72)Inventor : TANAKA KATSUHIKO

(54) TETRAHEDRAL LATTICE GENERATION SYSTEM AND RECORDING MEDIUM RECORDING PROGRAM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a system which avoids the failure of tetrahedral lattice generation with a simple algorithm that does not accompany the correction of the tetrahedral lattice in a generation method for a three-dimensional Delaunay division tetrahedral lattice.

SOLUTION: An advancing front method that preliminarily gives a dot is made a basic algorithm, first, a triangular lattice is generated on an analytical area surface, and a tetrahedral element that makes each triangular plane a side plane is successively segmented to embed it in the analytical area. In such cases, by using a means 6 which temporarily saves the triangular plane, a mechanism which postpones the processing of a triangular plane that has a possibility of generating such a polyhedron is provided in order to avoid the generation of a polyhedral area that is impossible to be divided into a tetrahedral element. Further, a means 8 which performs tetrahedral division of the inside of an enclosing convex area inconsistently is provided even when more than six dots are located on a spherical surface that does not include a



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.09.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3050184

[Date of registration] 31.03.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision]

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-96399

(43)公開日 平成11年(1999)4月9日

(51)Int.Cl.⁸
G 0 6 T 17/20

識別記号

F I
G 0 6 F 15/60

6 1 2 J

審査請求 有 請求項の数4 FD (全9頁)

(21)出願番号

特願平9-273922

(22)出願日

平成9年(1997)9月19日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 田中 克彦

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

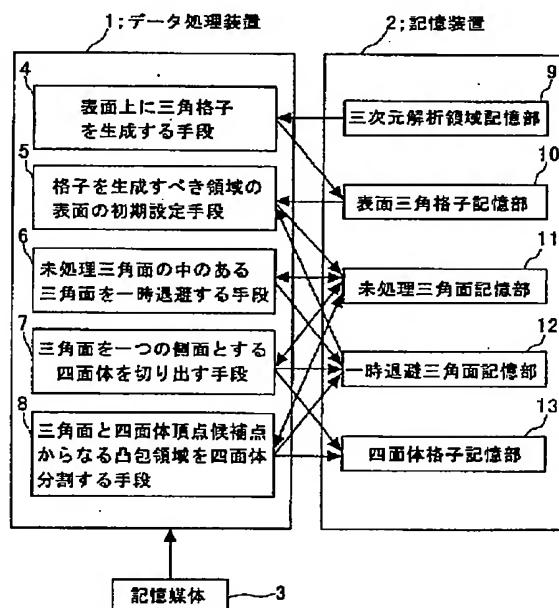
(74)代理人 弁理士 加藤 朝道

(54)【発明の名称】 四面体格子の生成方式およびそのプログラムを記録した記録媒体

(57)【要約】

【課題】三次元のドローネ分割四面体格子の生成方法において、四面体格子の修正を伴わない簡便な算法で、しかも四面体格子生成の失敗を回避できる方式の提供。

【解決手段】予め格子点を与えておくアドバンシング・フロント法を基本算法とし、解析領域表面にまず三角格子を生成し、各三角面を側面とする四面体要素を順次切り出して解析領域を埋めてゆき、このとき、四面体要素への分割が不可能となる多面体領域の発生を避けるため、三角面を一時退避する手段6を用いて、そのような多面体を発生させる可能性のある三角面の処理を後回しとする機構を備え、さらに、内部に格子点を含まない球面上に6点以上の格子点が位置する状態においても、その凸包領域内部を矛盾なく四面体分割できる手段8を備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】偏微分方程式を数値的に解くために、三次元の解析領域を離散化する四面体格子を生成するにあたり、予め領域の表面に三角格子を生成しておき、その三角面に対して頂点となる格子点を与えて四面体要素を切り出し、残りの三次元領域に対して再び同様の方法で四面体要素を切り出すという手順を繰り返すことで、四面体格子を生成するアドバンシング・フロント法を用いた四面体格子の生成方式において、

未だ四面体要素切りだし処理が行われていない三角面の中から指定された三角面を処理対象から外して一時退避する手段と、
ある三角面を使って四面体要素を切り出す際に、複数の格子点が候補点となった場合に、該候補点と三角面から構成される凸包領域を矛盾無く四面体要素に分割する手段と、
を含むことを特徴とする四面体格子の生成方式。

【請求項2】偏微分方程式を数値的に解くために、三次元の解析領域を離散化する四面体格子を生成するにあたり、予め領域の表面に三角格子を生成しておき、その三角面に対して頂点となる格子点を与えて四面体要素を切り出し、

残りの三次元領域に対して再び同様の方法で四面体要素を切り出すという処理を繰り返すことで、四面体格子を生成する、
アドバンシング・フロント法を用いた四面体格子の生成において、

(a) 未だ四面体要素切りだし処理が行われていない三角面の中から指定された三角面を処理対象から外して一時退避する処理、

(b) ある三角面を使って四面体要素を切り出す際に、複数の格子点が候補点となった場合に、該候補点と三角面から構成される凸包領域を矛盾無く四面体要素に分割する処理、

の上記(a)、(b)の各処理をコンピュータで実行させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項3】予め格子点を与えておくアドバンシング・フロント方法を基本算法として用いた四面体格子の生成方法において、

(a) 解析領域表面にまず三角格子を生成し、
(b) 作成した三角格子の格子面を、未処理の三角面として登録し、

(c) 未処理の三角面を一つ選び、これを側面とするような四面体要素の切り出し操作を行うに際して、四面体要素への分割が不可能となる多面体領域の発生を避けるために、切り出す四面体要素が一意に定まらない三角面を一時退避しておき、四面体要素への分割が不可能となるような多面体を発生させる可能性のある三角面の処理を後回しとし、
(d) ある三角面を使って四面体要素を切り出す際に、

10

20

30

40

50

複数の格子点が候補点となった場合に、三角面及び前記頂点候補点からなる凸包領域を四面体要素に分割し、それ以外の場合には通常通り三角面を側面とする四面体要素を切り出し、

(e) 未処理の三角面がある場合、上記(c)のステップから処理を繰り返し、一方、未処理の三角面がない場合に一時退避された三角面がある場合、該一時退避面を未処理三角面として上記(c)のステップから処理を行う、ことを特徴とする四面体格子の生成方法。

【請求項4】予め格子点を与えておくアドバンシング・フロント法を基本算法として用い、解析領域表面にまず三角格子を生成し、各三角面を側面とする四面体要素を順次切り出して解析領域を埋めてゆき、その際、四面体要素への分割が不可能となる多面体領域の発生を避けるため、三角面を一時退避する手段を用いて、そのような多面体を発生させる可能性のある三角面の処理を後回しとする手段を備え、

さらに、内部に格子点を含まない球面上に6点以上の格子点が位置する状態においても、その凸包領域内部を矛盾なく四面体分割するための手段を備えたことを特徴とする三次元離散化格子生成装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、三次元の離散化格子の生成方式及び方法に関し、特に、コンピュータを利用して偏微分方程を数値的に解くために用いられる三次元の離散化格子の生成方式及び方法に関する。

【0002】

【従来の技術】この種の技術の公知文献として例えば下記記載のものが参照される。

(1) 特開平7-121579号公報、(2) 特開平8-329284号公報、(3) M. S. Mock, "Tetrahedral elements and the Scharfetter-Gummel Method," Proc. NASECODE IV, June, 1985, pp. 36-47、(4) P. Fieischiemann and S. Selberher, "A New Approach to Fully Unstructured Three-dimensional Delaunay Mesh Generation with Improved Element Quality," Proc. SISPAD, Sep., 1996, pp. 129-130。

【0003】偏微分方程式を数値的に解くには、解析領域を微小領域に分割する離散化格子を生成し、元の偏微分方程式を近似した連立方程式を導き、これを解く。連立方程式を導く方法には、有限要素法や有限差分法などがあり、解くべき問題の性質に応じて使い分けられるが、例えば、半導体素子の電気特性を計算機上で計算するデバイスシミュレータでは、各離散化格子点が受け持

つ微小領域を定義し、この領域内で1、それ以外では0の値を持つような試験関数を用いる有限要素法として導かれるコントロール・ボリューム (control volume) 法もしくはボックス積分法と呼ばれる方法が広く用いられている。

【0004】方程式の離散化近似に使う三次元の離散化格子を生成する方法は、有限要素法に対しては、例えば、上記特開平7-121579号公報などに記載される方法が知られている。上記特開平7-121579号公報には、解析すべき3次元モデルを複数の4面体の有限要素と5面体および/または6面体の有限要素に分割して中間メッシュを形成し、次にこの中間メッシュの各有限要素を6面体の有限要素で再分割して解析すべきモデル全体を6面体メッシュとして形成する有限要素メッシュ生成方法が提案されている。

【0005】しかし、コントロール・ボリューム法を用いて解析を行う際、離散化格子がドローネ (Delaunay) 分割と呼ばれる領域分割になっていない場合は、数値解析が不安定になる。従って、そのような格子の性質を考慮していない、有限要素法用の格子生成法を適用することは通常はできない。

【0006】三次元のコントロール・ボリューム法を用いる場合の格子生成方法としては、例えば、上記M. S. Mockの論文 ("Tetrahedral elements and the Scharfetter-Gummel Method", Proc. NASECODE IV, pp. 36-47, June, 1985) や上記特開平8-329284号公報に記載の方法などが知られている。これらの方法は、最初に解析領域を包含するドローネ分割格子を作成しておき、これに格子点を一点追加して格子を局所的に修正するという操作を繰り返すものである。修正はドローネ分割という性質を損なわないよう行われる。

【0007】この方法では、四面体格子の修正を行うため、格子要素をその接続情報とともに削除し、再度接続情報を正しく設定する必要がある。そのような処理を正しく実行するプログラムの開発は注意深く行われねばならず、容易ではない。

【0008】四面体格子の修正操作を避けることのできる方法として、ドローネ分割格子をアドバンシング・フロント (advancing front) 法で求める方法が、例えば、文献 ("A New Approach to Fully Unstructured Three-dimensional Delaunay Mesh Generation with Improved Element Quality", Proc. SISPAD, pp. 129-130, Sep., 1996) に提示されている。

【0009】ここでは、まず従来のアドバンシング・フロント法の概要について、図8と図9を参照して説明す

る。図8は、従来のアドバンシング・フロント法の処理内容及び操作データとの関係を示すブロック図であり、図9は、従来のアドバンシング・フロント法の処理手順を示すフローチャートを示す図である。

【0010】図9を参照すると、最初に、ステップS1において、解析領域の表面を三角格子に分割する。続いて、ステップS2において、ステップS1で作成した三角格子の格子面を、未処理の三角面として登録する。そして、未処理面がある限り、ステップS3を繰り返す。ステップS3では、未処理の三角面を一つ選び、これを側面とするような四面体要素の切り出し操作を行う（図8の、三角面を一つの側面とする四面体を切り出す手段7）。

【0011】四面体要素を構成するには、三角面の他に格子点を一つ与えなければならない。領域表面上の三角格子の格子点の他、解析領域内部に与えられた格子点も利用する。解析領域内部の格子点は予め全て与えておくこともできるし、四面体要素を切り出す際に適切な位置に格子点を発生させることもできる。

【0012】四面体要素が切り出されると、格子を生成すべき領域が狭まる。未処理三角面が、格子を生成すべき領域の外周上の三角面の集合になるように、図9のステップS3において、未処理面のリストを更新する。すなわち、切り出した四面体要素の側面の中で、未処理面リストに登録されていた面はリストから削除し、新しく作成された三角面は未処理面リストに登録する。

【0013】図8は、上記した処理を行うためにデータ処理装置1に用意される手段と、記憶装置2に保存されるデータとの関係を示している。図8を参照すると、データ処理装置1と、記憶装置2、及び記憶媒体3からなり、データ処理装置1は、表面上に三角格子を生成する手段4と、格子を生成すべき領域の表面の初期設定手段5と、三角面を一つの側面とする四面体を切り出す手段7と、を備え、記憶装置2は、三次元解析領域記憶部9と、表面三角格子記憶部10と、未処理三角面記憶部11と、四面体格子記憶部13と、を含む。

【0014】半導体シミュレーションにおいては、解析領域が材質の異なる複数の領域から成ることが殆どである。この場合は、異材質間の界面上に三角格子を生成した後、図9のステップS2以降を、各材質の領域毎に適用することで対応できる。

【0015】このアドバンシング・フロント法をドローネ分割格子の生成に適用する方法の概略を図10を参照して説明する。ここでは、簡単のために、二次元の例で、格子を生成すべき領域の内部には格子点を置かない場合を取り上げる。ドローネ分割格子は、格子要素の外接円（三次元なら外接球）の内部に格子点が含まれないという性質を有する。この性質を利用して、以下のようにアドバンシング・フロント法を適用する。

【0016】図10(a)において、格子を生成すべき

領域14の多角形の頂点にのみ格子点があるものとする。領域14の外周上の一辺15を選び、内部に格子点を含まないような円16を構成する格子点（図中の黒丸の位置の点）を求める。この格子点と辺15を用いて三角要素を切り出す。

【0017】すると、図10（b）に示すように、格子を生成すべき領域14が更新され、その外周上の一辺15を選んで同様にして三角要素を切り出す。これを図10（c）に示すように、格子を生成すべき領域14が消失するまで繰り返す。

【0018】三次元の場合は、格子を生成すべき領域の外周上の三角面に対して、内部に格子点を含まないような外接球を構成する格子点を探すことになる。

【0019】解析領域内部に予め格子点を置いておく場合も、同様に処理できる。四面体要素を切り出す際に格子点を発生させる場合は、既に作成された格子要素の外接円ないし外接球内に位置しないように注意を払う必要があるが、そのような処理も不可能ではない。しかしながら、判定処理を組み込むことやどの位置も外接円ないし外接球内である場合に、点を発生させようとして無限ループに陥らないように制御することを考えれば、適切な算法ではない。つまり、アドバンシング・フロント法を用いるのならば、格子点は予め与えておくべきである。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】上記したように、アドバンシング・フロント法を三次元の四面体格子生成に利用する場合の問題点は、四面体要素を切り出せない状態が発生し得る、ということである。

【0021】図3に示しているのは、四面体要素分割されていない、外周で全て三角面で囲まれている三角柱領域である。この場合、どのように四面体を切り出そうとしても格子辺の交差が生じてしまう。このような状況は、三角柱領域や直方体領域など、6点以上が同一面上にあって、しかも、同一平面上に4点以上が位置するような場合に起き得る。

【0022】コントロールボリューム法を使う場合には、内部に格子点を含まない球面上に5点以上が位置する場合、それらの格子点の凸包の内部を通る格子辺を発生させる必要はなく、その凸包を一つの要素として扱うことができる。しかしながら、そうすると任意の面数を持つ多面体要素ができてしまい、特性解析部や解析結果の表示部がそのような要素に対応する必要が生じ、極めて不便である。原理的には格子辺の交差を生じさせることなく四面体分割が可能であるので、そのような分割を求める方が適切である。

【0023】したがって、本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであって、その目的は、図3に示すような領域の発生を防ぐことのできる、アドバンシング・フロント法を用いた離散化格子を生成する方法を提供する

ことにある。同様に本発明の目的は、三次元のドローネ分割四面体格子の生成方法において、四面体格子の修正を伴わない簡単な算法で、しかも四面体格子生成の失敗を回避できる、四面体格子の生成方式を提供することにある。

【0024】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するため本発明の離散化格子生成方式は、偏微分方程式を数値的に解くために、三次元の解析領域を離散化する四面体格子を生成するにあたり、予め領域の表面に三角格子を生成しておき、その三角面に対して頂点となる格子点を与えて四面体要素を切り出し、残りの三次元領域に対して再び同様の方法で四面体要素を切り出すという手順を繰り返すことで、四面体格子を生成するアドバンシング・フロント法を用いた四面体格子の生成方式において、未だ四面体要素切りだし処理が行われていない三角面の中から指定された三角面を処理対象から外して一時退避する手段と、ある三角面を使って四面体要素を切り出す際に、複数の格子点が候補点となつた場合に、該候補点と三角面から構成される凸包領域を矛盾無く四面体要素に分割する手段と、を含むことを特徴とする。

【0025】【発明の概要】本発明の概要について以下に説明する。本発明は、従来のアドバンシング・フロント法が有していた図8に示すデータ処理装置の各手段の他に、未処理の三角面の中から指定された三角面を退避する手段（図1の6）と、凸包領域を四面体分割する手段（図1の8）と、を有する。

【0026】これらの手段は、いずれも、図3に示すような状態に至る以前に、外周上の三角面が適切な分割になるような作用を与えるのに必要なものである。図3に示した三角柱領域では、手前にある長方形の側面が、左上と右下の頂点を結ぶ対角線で分割されているが、もし、一方の対角線で分割されていたならば、三角柱領域は問題なく四面体要素に分割できることがわかる。

【0027】図4は、その長方形側面が分割される以前の状態を示したものである。ここで、三角面PQRを使って四面体要素を切り出す場合に、格子点AとBのいずれも頂点として使うことができる。しかし、点Aを選んでしまうと図3の状態になる。ところが、三角面PQRを処理する前に、三角柱領域の外周のいずれかの三角面に対して四面体切りだし操作を行ったならば、必ず格子点QとBを結ぶ格子辺ができるような四面体要素が生成される。つまり、長方形ABRQの分割方法は、三角面PQR側から見れば任意性があるが、その反対側から見れば一意に決まっているということである。

【0028】従って、切り出す四面体要素が一意に定まらない三角面を一時退避しておき、一意に定まる三角面を優先的に処理すれば、この状況を避けられる。

【0029】しかしながら、この処理だけでは十分ではない。図5に示すように、三角柱領域の外接球上に格子

点Pがあった場合、この領域を囲む三角面のいずれもが四面対要素の切り出し方に任意性を持っており、どの面から処理すべきかが明らかではない。この場合に、三角面PQRに対して格子点Aを使って四面体を切り出せば、やはり図3の状態になる。

【0030】これを防ぐには、三角面と頂点候補点から構成される凸包領域全体を矛盾無く分割する手段を用意しておく必要がある。最も単純な方法は、分割できるまで、可能な分割方法を、しらみつぶし的に調べるというものである。

【0031】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態について図面を参照して以下に説明する。図1は、本発明の実施の形態の構成を示すブロック図である。また図2は、本発明の実施の形態の動作を説明するための流れ図である。

【0032】図2において、解析領域の界面上に格子を生成するステップS11と、未処理の三角面の登録するステップS12は、従来のアドバンシング・フロント法の対応するステップ（図9のステップS1およびS2）と同じである。

【0033】図2を参照すると、ステップS13において、未処理の三角面を一つ選んだ後、ステップS14において、四面体を切り出すべきかどうかの判定を行う。三角面に対して、内部に格子点を含まないような外接球を与える四面体要素を切り出しが、その外接球上に、三角面に対する頂点となり得る格子点が2点以上存在する場合がある。このとき、三角面の頂点を含めて4点以上が同一平面上にある時は、それらの点でできる多角形の分割の仕方に複数の可能性がある。

【0034】その多角形面が、三角面及び頂点候補点から構成される凸包領域の一部となるとき、三角面からの四面体要素の切り出しを行うことを避け、ステップS18において、当該三角面を未処理三角面から除いて、図1の、未処理三角面の中のある三角面を一次退避する手段6を用いて、一時退避しておく。

【0035】ステップS14において、上記の条件に当てはまらない場合には、ステップS15において、四面体要素を切り出す。ただし、複数の頂点候補点が存在する時は、図1の、三角面と四面体頂点候補点からなる凸包領域を四面体から分割する手段8を用いて、三角面及び頂点候補点から構成される凸包領域全体を四面体に分割する。そうでない場合は、通常の、三角面を一つの側面とする四面体を切り出す手段7を使って四面体を切り出す。

【0036】例えば、図4において、三角面PQRが処理すべき面となった場合、頂点候補点がA、Bの複数存在し、点A、B、Q、Rが同一平面上に位置し、しかもその4点でできる長方形が点A、B、Q、Rで構成される凸包の一部となる。従って、この面は一時退避されることになる。一方、その他の三角面が処理すべき面とな

った場合、格子辺が交差することなく切り出せる四面体が一意に定まる。つまり、頂点候補点は一点のみであるため、通常の切りだし手段（図1の7）によって、四面体が切り出される。このとき、格子点QとBとを結ぶ格子辺が構成されるため、今度三角面PQRが処理すべき面となった時には、点Bを使って四面体要素が切り出される。

【0037】四面体が構成されたら、通常のアドバンシング・フロント法と同様に、未処理の面リストを更新する。切り出された四面体の側面が未処理面であれば、未処理面のリストから削除するのと同じく、側面が退避された面であれば、退避面リストから削除する。

【0038】当該三角面の処理が終了したなら、図2のステップS16においてて、未処理面が残っているか否かを調べ、残っていれば、ステップS13へ戻る。残っていないければステップS17においてて、退避面の有無を調べ、それも残っていないければ終了する。退避面があった場合は、ステップS19においてて、通常、一時退避面をすべて未処理面として再設定してステップS13へ戻る。このステップS19の処理は、図1の、格子を生成すべき領域の表面の初期設定手段5に含まれるものとしている。

【0039】一時退避面をすべて未処理面として再登録しても、そのいずれもが再び一時退避面となって処理が進行しない場合が考えられる。そのような状態の検出は適切にフラグなどを使えば簡単である。そのような状態になった場合は、強制的にある三角面から四面体を切り出す。つまり、図2のステップS19においてて、退避面から一つの面だけを未処理面として登録し、ステップS13に戻った後、ステップS14の判定をスキップして、ステップS15の四面体切り出しを凸包領域の分割手段を使って行う。ここでフラグをリセットして、以下は再び通常の処理フローに従う。このようにすれば、無限ループになることはない。

【0040】この処理形態では、強制的な四面体の切り出しが起きるのは、再設定された未処理面がすべて退避面となった場合、すなわち、切り出しても問題のないと判定できる三角面が一つもない場合に限られる。その意味で、この方法は、アルゴリズム的に安定であるが、同じ三角面が何度もステップS14で評価され、ステップS18で退避され、ステップS19でまた未処理面に戻されるという状態が起きやすく、処理時間が増大する可能性がある。

【0041】処理時間を短縮するために、上記とはやや異なる方式も考えられる。処理フローはほぼ同一だが、図2のステップS14においてて、面を退避する条件として、「ある回数n以上退避されていないこと」という条件を付加する。回数の計数はステップS18で行えばよい。また、この回数の上限により、無限ループは避けられるので、ステップS19では常に、すべての一時退避

面を未処理面として再設定すればよい。 n が小さいほど処理時間は短くなるが、図3に示すような四面体分割不可能な状態を発生させる可能性は増大する。しかし、もともとこのような状態が起きるのは、かなり規則的に格子点配置を行った場合であり、ランダムな配置ではほとんど発生しない。従って、配置法によっては n が1で十分な場合もある。

【0042】再び図1を参照すると、本発明の実施の形態においては、記録媒体3を備え、そこに格子生成プログラムが記録し、格子生成プログラムを、記録媒体3からデータ処理装置1へ読み込み、データ処理装置1の動作を制御する。データ処理装置1は格子生成プログラムの制御により、図1及び図2を参照して説明した上記実施の形態の処理を実行する。

【0043】

【実施例】本発明の実施の形態について更に具体的に説明するため、本発明の実施例について図面を参照して以下に説明する。図6に示すような球状領域の8分の1の領域の内部に四面体格子を生成する場合に本発明を適用した実施例について説明する。

【0044】まず、解析領域表面に与える三角格子としては、図に示しているものを使用する。内部の格子点は予め以下のようにして配置する。まず、解析領域を含む矩形領域を定め、これを再帰的に微小な矩形へ分割する。

【0045】分割の基準は、「矩形領域が内部に2点以上の解析領域表面上の三角格子点を含むならば、矩形を各方向に2等分して8つの矩形に分割する」というものである。また、隣り合う矩形の分割レベルは高々1しか異なるようにする。

【0046】このようにしてできた矩形のうち、解析領域外の矩形や、解析領域表面に近接するもの、具体的には、三角格子の三角面の最小の外接球と交差するものを除去する。残った各矩形の四面体への分割、そして、矩形の集合領域と解析領域表面との間の領域の四面体への分割に本発明の方法を適用した。使用したのは、図2のステップS14において、面を退避する条件として、「1回以上退避されていないこと」という条件を附加したものである。

【0047】表面の三角格子面の分割数を変化させて100の例題に対して実施したところ、従来のアドバンシング・フロント法では38の例題でしか四面体格子を生成できなかったが、本実施例ではすべての場合に対して四面体格子を生成できた。また、生成された四面体1個あたりの平均処理時間は、従来法を1として、本実施例では、1.085であり、処理時間の増加割合は10%未満に収まっている。

【0048】図7に、本発明を半導体素子構造に対する格子生成に適用した第2の実施例を示す。図7(a)は、材質界面上に生成した三角格子である。材質は上か

ら順に、空気または電極層、絶縁膜層、半導体層、電極層である。四面体格子生成が必要なのは絶縁膜層と半導体層であり、先の8分の1球状領域の例と同様の矩形の再帰分割法によって内部の格子点を定め、各層毎に四面体格子を生成した。図7(b)は絶縁膜層、図7(c)は半導体層の四面体格子であり、多材質の構造に対しても問題なく適用できる。格子点数2万程度と、実解析も十分可能な格子点数を有する格子も生成できている。

【0049】

10 【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば下記記載の効果を奏する。

【0050】本発明の第1の効果は、四面体格子の修正を施さず、四面体を順次作成することで構成できる、安定して動作するドローネ分割格子生成方法を実現することができ、従来法のように複雑な格子の接続関係の保守をする必要が無く、従ってプログラム開発が容易になる、ということである。

【0051】本発明の第2の効果は、適用しようとする格子点の配置方法に応じて、動作の安定性と処理速度のトレードオフを調整することができる、ということである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施の形態の処理手順を示すフローチャートである。

【図3】四面体要素へ分割ができない多面体領域の例を示す図である。

【図4】本発明の実施の形態における、未処理三角面の30中のある三角面を一次退避する手段手段6を必要とする状態の例を示す図である。

【図5】本発明の実施の形態における、三角面と四面体頂点候補点からなる凸包領域を四面体から分割する手段8を必要とする状態の例を示す図である。

【図6】本発明の第1の実施例を説明するための図であり、解析領域およびその表面上の三角格子を示す図である。

【図7】本発明の第2の実施例を説明するための図であり、(a)は素子構造の界面上に生成した三角格子を示す図、(b)は絶縁膜層に形成された四面体格子の図、(c)は半導体層に形成された四面体格子の図である。

【図8】従来のアドバンシング・フロント方式の構成を示すブロック図である。

【図9】従来のアドバンシング・フロント方式の処理手順を示すフローチャートである。

【図10】従来のアドバンシング・フロント法の処理の模様を示した二次元の例を示す図である。

【符号の説明】

1 データ処理装置

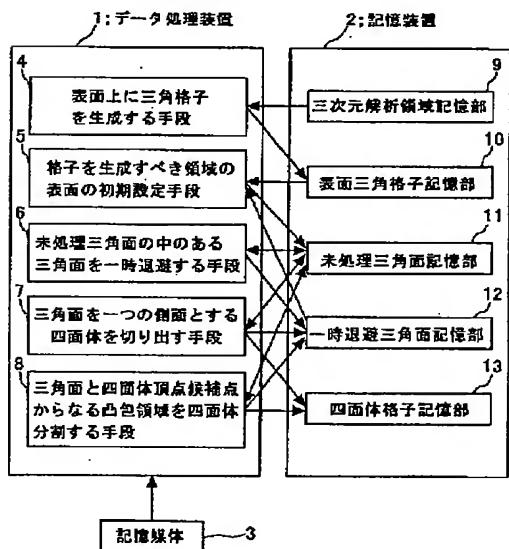
2 記憶装置

3 記録媒体
 4 表面上に三角格子を生成する手段
 5 格子を生成すべき領域の表面の初期設定手段
 6 未処理三角面の中のある三角面を一次退避する手段
 7 三角面を一つの側面とする四面体を切り出す手段
 8 三角面と四面体頂点候補点からなる凸包領域を四面体から分割する手段
 9 三次元解析領域記憶部

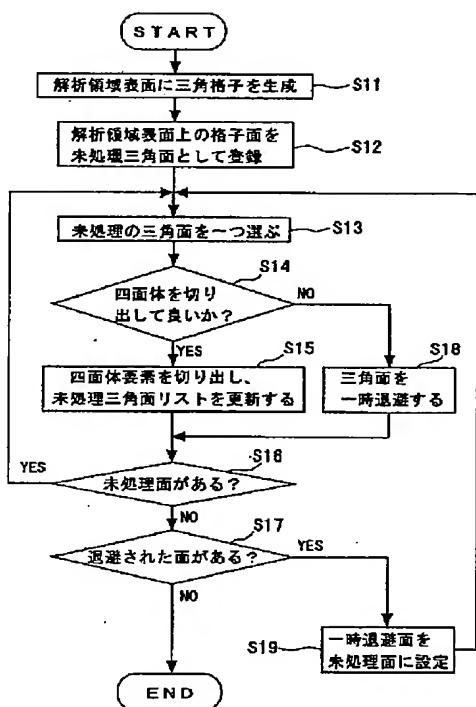
* 10 表面三角格子部
 11 未処理三角面記憶部
 12 一次退避三角面記憶部
 13 四面体格子記憶部
 14 格子を生成すべき領域
 15 格子を生成すべき領域外周上の一格子辺
 16 内部に格子点を含まない最大の外接円

*

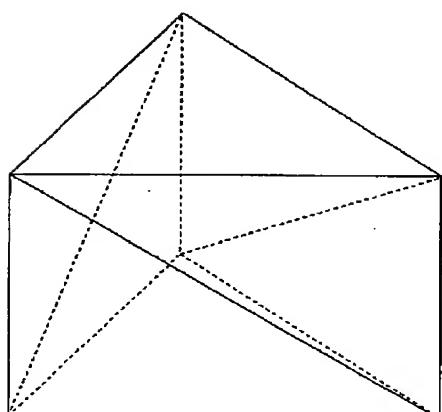
【図1】



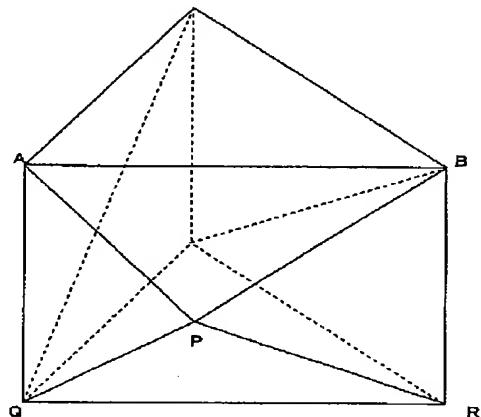
【図2】



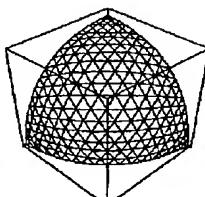
【図3】



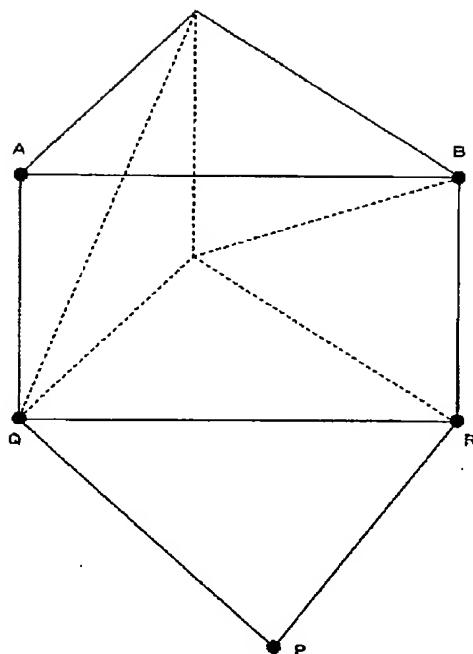
【図5】



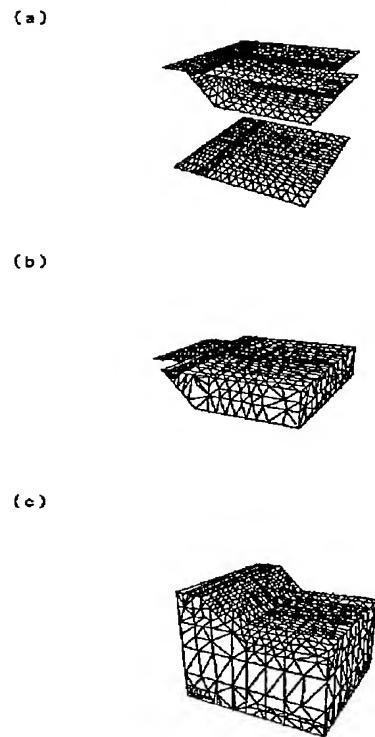
【図6】



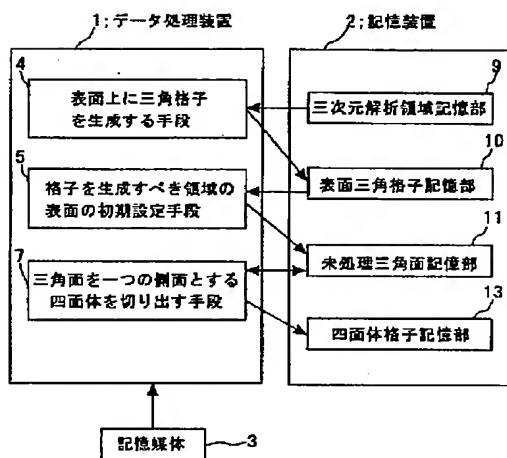
【図4】



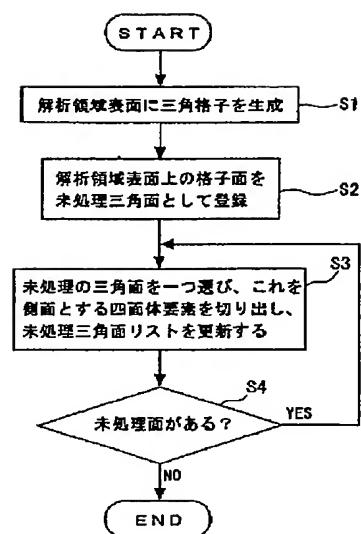
【図7】



【図8】

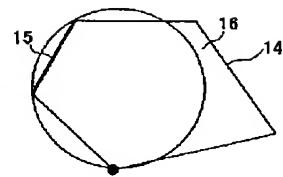


【図9】

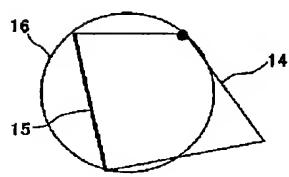


【図10】

(a)



(b)



(c)

